

関連総説 シンポジウム 1**電磁場不耐症：必要十分な研究を行うための諸条件**

本 堂 毅

東北大学大学院理学研究科

Intolerance to electromagnetic fields: necessary and sufficient condition for the research

Tsuyoshi Hondou

Graduate School of Science, Tohoku University

抄録

電磁場不耐症（過敏症）はWHOも存在を認め、スウェーデンでは保険診療の対象ともなっているが、電磁場曝露との因果関係は未だ十分明らかではない症候群である。著者は2012年に本誌へ総論を書いているため、本稿では臨床現場でも起こりうるような誤解釈例を示しながら、誘発実験を中心に若干の補足を行う。断片的な探索とならざるをえない一研究から断定的結論を唱えることの問題と、今後の研究に求められる諸条件に焦点を当てる。
(臨床環境 28 : 1 - 4, 2019)

《キーワード》 電磁場不耐症、共鳴、誘発実験

Abstract

Intolerance to electromagnetic field is a symptom that WHO acknowledges. However, the cause of the symptom has not yet been attributed to the exposure to electromagnetic field. The author published a review of the symptom in this journal in 2012. In this short review, I give a supplementary explanation by focusing on an experimental study. Delicate problem of study interpretation and necessary and sufficient condition for future research are discussed.
(Jpn J Clin Ecol 28 : 1 - 4, 2019)

《Key words》 intolerance to electromagnetic field, resonance, experimental study

受付：2019年5月7日 採用：2019年10月7日

別刷請求宛先：本堂 毅

東北大学大学院理学研究科

〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉6-3

I. はじめに

電磁場不耐症（過敏症）はWHOも存在を認め、スウェーデンでは保険診療の対象ともなっているが、電磁場曝露との因果関係は未だ十分明らかではない症候群である¹⁾。著者らは2012年に本誌へ総論²⁾を書いているため、本稿では臨床現場でも起こりうるような誤解釈例を示しながら、誘発実験を中心に若干の補足を行う。断片的な探索とならざるをえない一研究から断定的結論を唱えることの問題と、今後の研究に求められる諸条件に焦点を当てる。

II. 電磁場不耐症研究の現状

研究には2つの方法論がある。疫学と誘発実験である。疫学では電磁場曝露強度と症状の間に有意な因果関係を認める研究もあるが、被験者の思いこみバイアスを説得力ある形で否定できていない。誘発実験は、被験者に電磁場を負荷して自覚症状の問診あるいは他覚的測定を行うもので、盲検法により被験者の思いこみを排除することができる。個別の誘発実験では電磁場曝露との因果関係を認める研究はいくつか存在するが、症状と電磁場曝露の因果関係を高い再現性を伴って認める研究は未だ存在しない。一方、スイスの疫学者である Rössli³⁾による誘発実験メタアナリシス研究からは、複数研究を統計解析するとP=0.05よりわずかに上の値が示される。旧来の誘発実験は因果関係の存在を明らかにするための感度が低い可能性があり、より高感度な方法論の必要性が示唆される²⁾。

目を基礎科学に移す。ドイツ・オルテンブルク大学の Mouritsen らは2014年に「渡り鳥の電磁場不耐」とも呼ぶべき現象が存在することを示した⁴⁾。渡り鳥の方位感覚が地球磁場知覚によってなされていることは以前から明らかであるが、彼らはその地球磁場知覚が、現代の都市環境では珍しくない強度のラジオ波（電磁波）によって擾乱され損なわれてしまうことを実験的研究によって明確に示した。少なくとも動物レベルでは、電磁場不耐現象が存在することは基礎科学として争いがないエヴィデンスとなっている。ヒトについて

も最近、カルフォルニア工科大学と東京大学のグループによる脳波研究によって、ヒトが地磁気感受性を持っていることを示唆する実験がなされている⁵⁾。

なお、強電場、強磁場、強電磁波の熱作用や神経作用は既知であるが（たとえば ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)、電磁場不耐症は日常の電磁場環境下の影響であるため、この小論では対象外とする。

表1 電磁波不耐症の検証（現状・課題）

疫学的研究：いくつかの研究で統計的有意（存在が示唆）
 ・交絡の有無など諸問題 ⇒ controversy な状態が続く
 Ref. IARC の発がん性評価：クラス 2b: possibly carcinogenic

背景

- ・ノセボ効果（心理的影響）
 - ・盲検法が必要
- ・多様な物理的パラメータ依存性
 - ・高周波（電磁波）：大きい
 - ・Dosimetry（曝露量評価）、変調、周波数……
 - ・低周波（特に磁場）：小さい
 - ・Dosimetry（曝露量評価）、変調、周波数……

⇓ ⇓ ⇓ ⇓
 誘発実験への期待

III. 電磁場不耐症にかかわる混乱

ここで、実際の臨床現場を想定して、電磁場不耐症に関わって生じうる混乱を描いてみる。これらは著者が実際に見聞きした例を出発点に、医師と患者のやり取りを舞台として構成した「架空例」である。

ドクター X

患者に10 V/m、3 GHz のマイクロ波を負荷させて影響なかった。

⇓

「あなたは大丈夫ですよ。こんな強い電磁場でも影響ないですから。」

ドクター Y

患者に100 μ T、50Hz の磁場を負荷させて影響なかった。

⇓

「大丈夫ですよ。強い電磁場でも影響ないですから。」

ドクター Z

被験者の全身に 5 W/kg の 1 GHz マイクロ波を負荷させて影響があった。

↓

「あなたは電磁波で影響があります。電磁場不耐症でしょう。」

さて、3つの架空例には、どのような仮定があるのだろうか。そして、その仮定は妥当だろうか。

三つの例を解釈するにあたって、電子スピン共鳴と呼ばれる現象を説明する。「共鳴現象」一般は MRI での画像診断などで多用されており、電磁場と生体の相互作用の典型例である²⁾。さて、電子スピン共鳴は、静磁場 B (テスラ) の環境に置かれた電子のスピンに対して、外から加えられた周波数 ν (Hz) の電磁波 (マイクロ波) エネルギーが吸収される現象であり、その成立条件は (1) 式で与えられる。

$$h\nu = g\mu_B B \quad (1)$$

μ_B はボーア磁子、 h はプランク定数と呼ばれる自然定数で、 g は電子 (のスピン) が置かれる物質中の環境によって決まる定数である。(1) 式の条件が満たされない場合は電磁波エネルギーの吸収が起こらない。相互作用が起こるのは (1) 式の条件が満たされる場合、すなわち、周波数 ν と静磁場 B の特定の組み合わせの場合のみである。周波数が大きすぎても、小さすぎても、磁場が大きすぎても、小さすぎても共鳴は生じないのである。

物理的な刺激によって起こされる生物影響には、このような「共鳴現象」が多くの場面で本質的に関わることが分かっている。共鳴では、生物・医学系で多く仮定される「用量反応関係」が全く成り立たない。電子スピン共鳴現象が起こるのは、外から加わる電磁場の強度が共鳴先の状態

とぴったり一致した場合のみである。先に触れた MRI も同様である。

電磁場のヒトへの影響に常に「電子スピン共鳴」があると主張する訳ではない。強調したいことは、用量反応関係などの仮定を置くと、物理的負荷による生物・医学的影響の多くはすり抜けてしまうという事実である。

この事実を理解すると、「架空例」には以下の前提が暗に置かれていることが分かる (抜粋)。

ドクター X :

1. 当該物理パラメータより弱い強度では影響がない
2. 別の周波数でも影響はない
3. 一部位への負荷が全体を代表できる

ドクター Y :

1. 当該物理パラメータより弱い強度では影響がない
2. 別の周波数でも影響はない
3. 電場は無視しうる

ドクター Z :

1. 電磁場不耐症を電磁場の「熱効果」と同一視している

ドクター Z の仮定を例に取ろう。1 GHz で 1 W/kg 以上のマイクロ波全身負荷では、被験者に「熱効果」が生じうるレベルとなる。これは電磁場不耐症の対象となる電磁場レベルより何桁も強い電磁場である。そのため、その条件で影響があったとしても、その事実と電磁場不耐症を関連づけることは困難である。これに限らず、上記の「前提」はいずれも一般には成立しない。よって、それらの前提に基づく議論には一般性はないのである。

IV. 電磁場不耐症研究に必要な条件

電磁場の生物影響・医学的影響を考えるためには、理工学者には、医学・生物学基礎の理解、生物学・医学者には、物理学・電磁気学への理解が必要となる。基本が欠けると「赤血球にマイクロ波を当てたが遺伝子影響はなかった」(某審議会

委員の工学部教授)のような発言・認識さえ生み、社会的判断をも誤らせてしまう。また電磁場の実験をする際には、様々なシールド(環境電磁場を低減する措置)も時に要請されるが、その際に全ての値が0になるまで低減することは不可能であるし必要もない。ランダム化試験等の導入により交絡因子の多くを落とすような研究デザインを取ることで、対象集団全体としてはシールドがなくても議論を可能にすることもできる。必要十分な研究デザインには、電磁場への定性的かつ定量的な理解が条件となる。

誘発実験を行う際の主要パラメータや注意点を以下に挙げる。その多くは疫学の解析・解釈にも共通する。『物理パラメータ』としては、①電場か磁場か(両方か)、②電磁場の強度と方向、③周波数、④変調、などが挙げられる。『実験上の注意点・工夫』としては、①交絡の防止・確認(静電場・静磁場から変動電場・変動磁場までの環境電磁場の測定・制御。ランダム化による交絡の統計的解消。不要な要素の必要十分な低減等)、②二重盲験法、③影響を高感度で捉えるための方法論の導入、などが挙げられる。

V. まとめ

電磁場の生物・医学的影響は、化学物質影響等とは異なる側面がある。誘発実験は、疫学的研究に比べてよりクリアな結果を導きうる方法論であるが、実験は特定の物理パラメータ下でしか行い得ないため、得られた結果は、実験に使われたパラメータに関しての事実(エビデンス)に過ぎないことを常に意識する必要がある。

誘発実験には、旧来より「高感度」な手法が望まれる。感度が高ければ、ある程度広くパラメータを振っても有意な結果を得られる可能性が高まる。電磁場不耐症研究では、上記の問題を踏まえた実験デザイン、そして、研究の適用限界を踏まえた必要十分な結果の解釈が不可欠であろう。

謝辞

本研究は科研費挑戦的研究18H05396の助成を受けて行われたものである。

引用文献

- 1) WHO. Factsheet No.296, 2005
- 2) 本堂 毅, 宮田英威. 電磁場過敏症研究: 物理学者から見た課題. 臨床環境 21: 152-160, 2012
- 3) Röösl M. Radiofrequency electromagnetic field exposure and non-specific symptoms of ill health: a systematic review. Environ Res 107: 277-287, 2008
- 4) Engel S, Schneider N-L, et al. Anthropogenic electromagnetic noise disrupts magnetic compass orientation in a migratory bird. Nature 509: 353-356, 2014
- 5) Wang CX, Hilburn IA, et al. Transduction of the geomagnetic field as evidenced from alpha-band activity in the human brain. eNeuro 2019. [Epub: 18 March 2019] <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0483-18.2019>